A. ARTOM

# Sulla composizione dei campi e delle onde elettromagnetiche



ESTRATTO DALLA RIVISTA « L'ELETTRICITÀ »
DELL' 11 FEBBRAIO 1909 N. 1406



MILANO
INDUSTRIA GRAFICA ITALIANA STUCCHI CERETTI & C.
1909

# Sulla composizione dei campi e delle onde elettromagnetiche.

A. Artom (1).

Questo studio è destinato ad esporre alcune esperienze dimostrative intorno ad un argomento che ha già fatto oggetto di miei lavori precedenti (2), cioè, la composizione, sotto angoli determinati, di onde spostate di fase, allo scopo di costituire un'*asse* alla propagazione.

In altre mie pubblicazioni antecedenti sono descritte le disposizioni pratiche dirette a realizzare nella radiotelegrafia questo concetto ed altri concetti che ne conseguirono per naturale evoluzione, nonchè son registrate le relazioni delle esperienze compiute in varii anni coll'aiuto della R. Marina Italiana, che S. E. il Ministro Mirabello volle benevolmente accordarmi.

Qui voglio ora riferire un insieme di esperienze eseguite in questi anni, che devono servire di appoggio scientifico alle mie idee, in risposta ad interrogazioni ed obbiezioni mossemi da amici e colleghi.

---

(1) Nota presentata al Congresso dell'A. E. I. a Roma, ottobre 1908.

(2) *R. Accademia dei Lincei*, XII, 15 marzo 1903. — XIV, 5 febbraio 1905. — XV, 17 giugno 1908. — Atti *Associaz. Elett. Ital.*, XII, luglio-agosto 1908.

In primo luogo, dimostro la possibilità di dar luogo a *campi rotanti* magnetici ed elettrici nei circuiti di scarica ad alta frequenza mediante la composizione dei corrispondenti *campi alternativi smorzati*, in quanto mostro che in uno stesso circuito di scarica oscillante, la *corrente* è capace di fare agire un vero motore polifase a *risonanza*, e contemporaneamente è possibile derivarne due *tensioni*, in differenza di fase, atte a far descrivere trajettorie cicliche al pennello di raggi catodici in un tubo Braun, opportunamente armato per gli effetti elettrostatici.

In secondo luogo, dimostro e discuto la possibilità della *composizione delle onde elettromagnetiche* nello spazio di propagazione, emesse da una coppia di antenne ad angolo occupate da vibrazioni elettriche sfasate.

## I.

La fig. 1 dà lo schema generale della disposizione che serve alla dimostrazione dei campi rotanti.

In *SKAB* è rappresentato il circuito di scarica, che consiste come d'ordinario in un condensatore *K*, un'induttanza *AB*, ed uno spinterometro *S* collegato pei fili $\alpha$ $\beta$ al secondario di un rocchetto Ruhmkorff, di cui il primario è alimentato da corrente alternata (3).

---

(3) Il rocchetto è un 30 cm. di scintilla di Max Kohl. La tensione alternata a 42 periodi di 220 volt è applicata sopra un reostato di 20 ohm, e sulla metà di questo vien derivata la corrente primaria del rocchetto Ruhmkorff con in serie una grossa bobina induttiva a nucleo di fili di ferro scorrevole. In tutte le esperienze citate tale corrente è sempre molto inferiore a 10 ampère.

Nella *corrente* di questo circuito di scarica è inserito l'apparecchio *NPM*, che costituisce un modello di motore bifase d'alta frequenza. A destra, è derivato un circuito che serve a ricavare le *tensioni* per il campo elettrostatico rotante.

L'induttanza nei circuito di scarica è costitui-
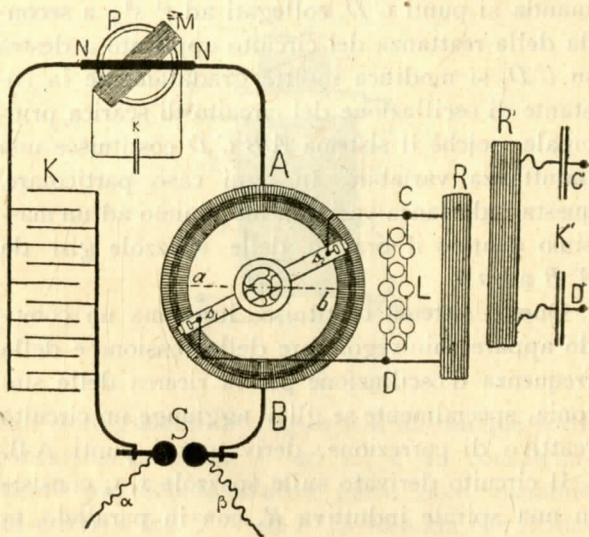
Fig. 1.

ta di un avvolgimento chiuso di spire serrate e bene isolate, fatto sopra un toro di legno del diametro medio di 32 cm. e la sezione di circa 3 cm. di diametro, con filo di rame di 2 mm. La corrente di scarica lo attraversa per due punti diametrali fissi *A*, *B*, Il circolo medio dell'anello di spire è spogliato superficialmente dell'isolante, di maniera che due spazzole diametrali $s_1$, $s_2$, portate all'estremità di un braccio isolante girevole, possano prendere contatto con due punti

dell'avvolgimento diametralmente opposti qualunque. Quando il braccio cade su *A B*, le spazzole raccolgono tutta la tensione; quando si trovi invece su *a b*, diametro a 90° dal primo, hanno una differenza di potenziale insensibile. Si può così regolare gradatamente la tensione che si manda ai punti *C D*, collegati ad $s^1$ $s^2$; a seconda della reattanza del circuito applicato a destra su *C D*, si modifica inoltre gradatamente la costante di oscillazione del circuito di scarica principale, poichè il sistema *A B C D* costituisce una induttanza variabile. In ogni caso particolare, questa induttanza varia da un minimo ad un massimo quando il braccio delle spazzole giri da *A B* ad *a b*.

Questo sistema costituisce insomma un comodo apparecchio regolatore della tensione e della frequenza d'oscillazione per la ricerca delle sintonia, specialmente se gli si aggiunge un circuito reattivo di correzione, derivato nei punti A B.

Il circuito derivato sulle spazzole $s_1$ $s_2$ consiste in una spirale induttiva *R*, con in parallelo, eventualmente una resistenza di lampade *L* (4). Alla spirale *R'*, che fa parte di un circuito chiuso di risonanza comprendente una capacità *K'* e un sistema di spire. come *E' E'* oppure *F' F'*, avvolte sopra un rocchetto che fa capo ai punti *C' D'*. Questo costituisce il primario (morsetti 1, 2) di una specie di trasformatore, di cui il secondario è un secondo rocchetto, liberamente scorrevole, *F'* (morsetti 3, 4). Gli avvolgimenti *F'* ed

(4) In certi casi, la induttanza regolabile *A B* è esclusa, e una spirale, come *R*, di pochissime spire, è direttamente inserita nel circuito principale di scarica.

*F''* comprendono molte spire di filo sottile con alto isolamento fra gli strati: l'avvolgimento *E'* è fatto con minor numero di spire di filo più grosso, avvolte strettamente, ma bene isolate,
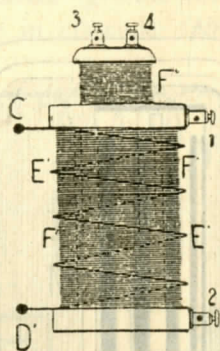
Fig. 2.

sull'avvolgimento *F'* (fig. 2). Si ha dunque forte concatenamento fra *F'* ed *E'*, e un concatenamento più debole, d'altra parte assai variabile ad arbitrio, fra *E' F'* ed *F''*, a seconda che il rocchetto interno sia più o meno immerso entro l'esterno.

Alle coppie di morsetti 1, 2, 3, e 4, con opportune condizioni delle varie parti del circuito, regnano due tensioni oscillanti, che per risonanza possono condursi ad avere periodi assai prossimi e fasi variabilissime a volontà, come il tubo Braun a cui queste tensioni vengono applicate.

1. *Apparato per il campo magnetico rotante.* — E' costituito, come mostra in pianta la fig. 1 da una o due spire rettangolari *N* di grosso filo di rame, sostenute in un piano verticale, e

percorse dalla corrente di scarica principale. Entro questa spirale trovansi un telaietto di spire pure rettangolari in filo sottile bene isolato, avvolte in un solo strato, e chiuse sopra un condensatore K graduabile. La prima spira, e questo si-
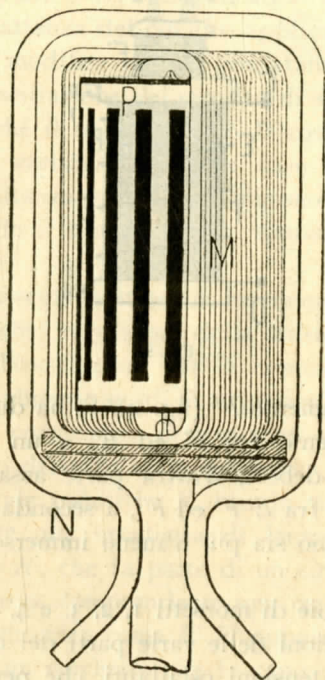
Fig. 3.

stema di spire indotte, quando i loro piani siano press'a poco a 45°, danno nel loro interno un campo magnetico di carattere nettamente rotatorio, la cui presenza è dimostrata dal fatto che può imprimere una vivace rotazione ad una armatura metallica delicatamente sospesa.

Questa è un cilindro $P$ di carta di cui le generatrici sono ricoperte da un sistema di striscie di stagnola sottile, riunite in alto e in basso da due anelli pure di stagnola (fig. 3), ciò che costituisce un vero rotore a gabbia adatto per correnti di alta frequenza (grande resistenza e piccole autoinduzione in ciascuna *spira* indotta).
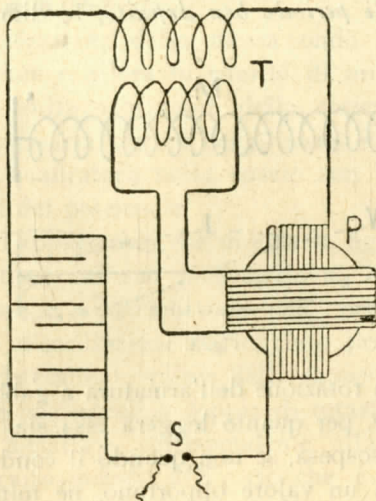
Fig. 4.

Che la rotazione *non* sia dovuta a cause elettrostatiche, si prova con un cilindro uguale di sola carta, il quale nelle identiche condizioni rimane perfettamente immobile.

E neanche è dovuta ad un campo rotante di bassa frequenza prodotto dalla corrente secondaria alternata del rocchetto Ruhmkorff, poichè se si *apre* la scintilla $S$, non v'ha la minima tendenza a rotazione.

Quando la corrente nel circuito principale sia troppo intensa, è facilissimo veder bruciare le striscie di stagnola, specialmente verso i punti d'attacco agli anelli collettori; ciò che fa ritenere che la rotazione sia veramente dovuta a correnti indotte d'armatura che reagiscono sopra un campo magnetico rotante induttore (5).

Che si tratti poi di un campo rotante, smorzato, *ma di periodo ben definito;* lo dimostra il
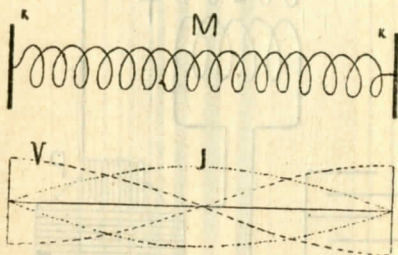
Fig. 5.

fatto che la rotazione dell'armatura a gabbia non si stabilisce, per quanto leggera essa sia, e delicatamente sospesa, se non quando il condensatore K abbia un valore opportuno, nè minore nè maggiore di quello voluto dalle condizioni della massima scarica nel circuito principale.

In altri termini, il circuito secondario *M*, K deve essere posto in condizioni di *risonanza* col circuito primario.

---

(5) Il fenomeno si osserva con maggior violenza, se si opera con un apparecchio come quello fig. 4, che però è meno *canonico* del primo, giacchè non consente frequenze molto elevate, e che adoperavo nel 1902.

Nel circuito principale d'oscillazione $S\,K\,T_1$ è inserita una delle spirali, *N*, di un apparato del tipo Ferraris, e nel circuito indotto $T_2$ di un trasformatore $T_1\,T_2$ è in-

L'esperienza si può variare in modi molteplici avendo il mezzo di variare i fattori della costante d'oscillazione del circuito. E' chiaro che converrà modificare il periodo del circuito e variare K, finchè nella spirale indotta *M* si costituisca una mezza onda stazionaria dela vibrazione principale, con un nodo del potenziale al centro della spirale e ventri opposti sulle armature del condensatore K (fig. 4).

La *vibrazione* della mezza onda stazionaria di corrente è allora in ritardo di un quarto di periodo sulla vibrazione della corrente principale o primaria, mentre l'*onda* stessa è come sempre, in quadratura nello spazio con l'onda stazionaria del potenziale.

Con l'apparecchio che mostra la fig. 6, il quale contiene nel suo piedestallo un condensatore variabile, si può mostrare che, per ogni dato periodo d'oscillazione del circuito principale, vi ha un determinato valore della capacità di *k* che produce una massima coppia di rotazione del cilindro metallico, corrispondente alla risonanza col circuito indotto *MK*; ciò che è dimostrato anche dal fatto che la spirale *M* emette allora degli effluvii luminosi con le sue spire estreme. Col diminuire del periodo, la capacità *optimum* del

---

serita la seconda spirale *M*: entrambe comprendono dell'interno un'armatura di carta stagnola, come quella sopra descritta. Questa armatura assume rapidamente una forte rotazione, non appena s'introduca nel cavo del rocchetto $T_1$, $T_2$ un nucleo in filo di ferro sottile, si scalda molto e finisce per bruciare. Il trasformatore è formato di due strati di filo di 2 mm. bene isolato, con una diecina di spire ciascuno, del diametro di circa 6 cm. Le bobine rettangolari *M, N* comprendono pure una decina di spire di 10×20 mc.

condensatore K va appunto diminuendo, finchè si giunge alla condizione che è sufficiente la capacità propria della spirale *M* a circuito aperto per produrre la risonanza e la conseguente rotazione. Tale è il caso allorchè nel circuito principale sia inserita la sola spirale *N* dell'apparecchio, e il condensatore *K* venga molto ridotto.
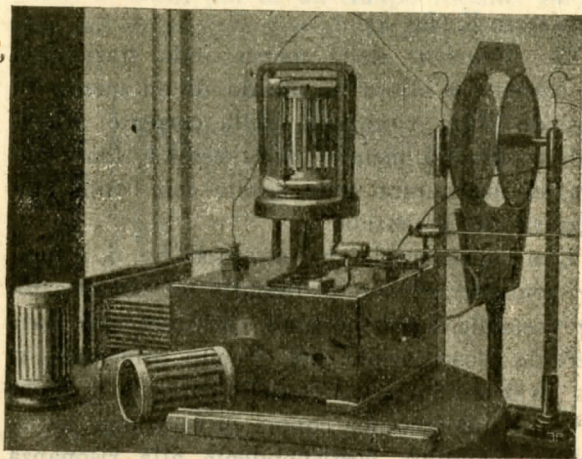
Fig. 6.

E' anche possibile creare tali condizioni nel circuito di scarica, che la rotazione delle armature si produca o si arresti, e viceversa, col solo accostare le mani o una lastra alla bobina indotta.

Particolarmente sensibile diviene questo apparecchio quando si sostituisca alla sospensione su punta, un bifilare in seta; allora le condizioni di risonanza vengono rilevate da una deviazione massima che può osservarsi con uno specchietto applicato all'armatura sospesa.

Per concludere, val la pena di notare che il sistema delle spire $N$, primario e delle spire $M$ a 45°, secondario, rappresenta il modello elettromagnetico corrispondente — in quanto al vettore rotante creato — del comune polarizzatore circolante artificiale dell'ottica, costituito, come è noto, da un *nicol*, polarizzatore rettilineo, associato ad una *mica quarto d'onda* con gli assi a + 45° dalla sezione principale del nicol. La spira primaria, che da sola formerebbe sul suo asse un campo magnetico, alternato, corrisponde al nicol ; il sistema delle spire secondarie a 45°, percorse da una corrente indotta press'a poco, grazie al condensatore K, in quadratura con la primaria, corrisponde alla lamina di mica quarto d'onda, che ha per ufficio di scomporre il vettore alternato rettilineo fornitole dal nicol, in due vettori ad angolo retto, ritardando l'uno di essi per rispetto all'altro di 90°, con che si dà luogo ad un vettore rotante.

2. *Apparato per il campo elettrico rotante.* — E' un tubo di Braun ordinario, cui furono applicate esternamente con gommalacca, come mostra la fig. 7 quattro piccole armature di stagnola $a$, $b$, $c$, $d$, poco dopo il diaframma forato $D$, e che si estendono fino alla periferia del bulbo. Su di esse poggiano ivi quattro molle, come $m$, $n$, che partono da altrettanti serrafili, 1, 2, 3, 4 fissati sul contorno di un anello di ebanite $A$, che circonda, con l'intermediario di un tubo di cartone, il bulbo, e serve di sostegno all'intero apparecchio alla sommità di un bastone di vetro $V$ *alto* 70 cm. che termina in un largo piedestallo.

Tutta la restante superficie del tubo Braun, a partire dall'anodo fino all'orlo dello schermo fluorescente *Z*, e limitandosi a un centimetro circa di distanza delle quattro armature *a*, *b*, *c*, *d*, porta un rivestimento di stagnola applicata con gommalacca, per allontanare le cariche elettrostatiche superficiali o distribuirle uniformemente. E' una specie di armatura di guardia intorno
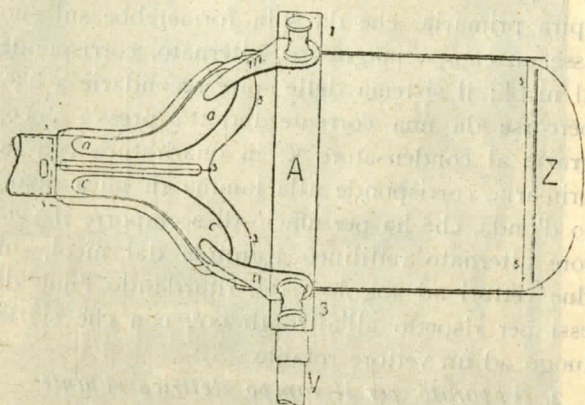
Fig. 7.

alla regione *a b c d*, che inoltre serve a salvaguardare il tubo da differenze di tensione troppo forti applicate in quella regione.

Conviene scegliere un tubo Braun molto evaquato, affinchè si possa produrre trasversalmente il fascio catodico, fra le armature *a*, *b*, oppure *c*, *d*, una caduta di potenziale sufficientemente grande, e avere così maggior sensibilità. Trattandosi qui di osservare l'effetto di campi elettrici variabili rapidamente, la disposizione adottata per le armature, applicate esternamente, si dimostra va-

lida, ciò che non sarebbe il caso invece per campi costanti, e lentamente variabili, pei quali, come è noto, occorre portare gli elettrodi formanti condensatore, nell'interno, piuttosto vicini, e isolati estesamente.

Alle coppie di morsetti 1, 2, e 3, 4, in quadratura, si applicano, con fili isolati lunghi circa 1 m., le tensioni regnanti agli estremi corrispondenti delle due spirali indotte *F'* ed *F''* (fig. 8).

Regolando opportunamente la tensione oscillante iniziale presa con le spazzole $s_1$ $s_2$ su *A B*, così come il concatenamento fra *R* ed *R'* e le condizioni di risonanza nel circuito *R' K' E'* (*F'*), comparisce sullo schermo fluorescente (il tubo essendo eccitato con una Whimshurst) una traiettoria ciclica aperta, e spesso più di una sola traiettoria, per effetto di una sovrapposizione ottenuta — di cui la forma è generalmente a spirale (logaritmica) ellittica (*).

A parità di altre condizioni, con solo spostamento relativo dei due rocchetti indotti *F'* ed*F''* si possono produrre, fra le tensioni agenti sulle armature del tubo Braun, spostamenti di fase varianti fra zero e mezzo periodo della vibrazione per la quale è stabilita la risonanza. Quando

(*) Figure del tutto analoghe si osservano d'altronde con lo stesso tubo Braun come indicatore del *campo magnetico rotante,* quando si applichino in corrispondenza di due diametri presso il collo, due sistemi di poche spire bene isolate, l'una inserita nel circuito principale oscillante e l'altra in un circuito secondario indotto, con capacità, in condizioni di risonanza. — Meglio ancora, possono servire due spirali di molte spire di filo sottile, in un solo strato, ed uguali (analoghe a quelle di Seibt), che si presentino alle estremità di detti due diametri del tubo Braun, privo di armature, coassialmente ai medesimi diametri. Facendo allora comunicare i capi dei

$F''$ è totalmente fuori del campo di $F'$, e isolato, si osserva una traiettoria rettilinea,che ha la inclinazione del campo 1, 2; introducendo gradatamente la spirale $F'''$ entro $F'$, la traiettoria si apre in una curva spirale, di cui la ellitticità varia gradatamente dalla direzione 1, 2 alla direzione 3, 4, passando quindi per una spirale sensibilmente circolare. Al termine, quando $F''$ è tutto immerso entro $F'$, concatenamento massimo, la traiettoria si riduce ad essere rettilinea nella direzione del campo 3, 4, denotando una variazione virtuale della differenza di fase, dal principio alla fine, di circa mezzo periodo (fig. 9, 10, 11).

Fenomeni analoghi, ma generalmente meno semplici, si osservano sopprimendo il circuito ausiliario di risonanza, e congiungendo direttamente $C'$, $D'$ con $C$, $D$, quando $C'$ $D'$ sieno applicati rispettivamente ai morsetti 1, 2. In tal caso, e anche in altri casi, si ottengono effetti notevoli già con una scintilla in $S$ di meno che due millimetri e col braccio delle spazzole $s_1$ $s_2$, pochissimo spostato fuori del diametro $a$ $b$ (figura 1). Si nota ancora che, quando il concatenamento fra $F'$ ed $F''$ (primario e secondario) è molto debole,

---

due avvolgimenti che escono presso il tubo con due certi punti del circuito principale di scarica ove regnino due tensioni sfasate, lasciando gli altri due capi opposti isolati, quando le due spirali sieno in risonanza al quarto d'onda, col circuito, si formeranno ventri di tensione alle estremità libere più lontane e ventri di corrente (sfasati fra loro) presso il tubo Braun. La macchina fluorescente fornisce allora una trajettoria ciclica che rappresenta il campo magnetico rotante, facendo agire sulle altre estremità dei due diametri anche le altre due estremità delle bobine, si possono osservare contemporaneamente il campo rotante magnetico e quello elettrico.

(*Nota di A. G. Rossi*).

compare sullo schermo la sola componente rettilinea del campo 3, 4.
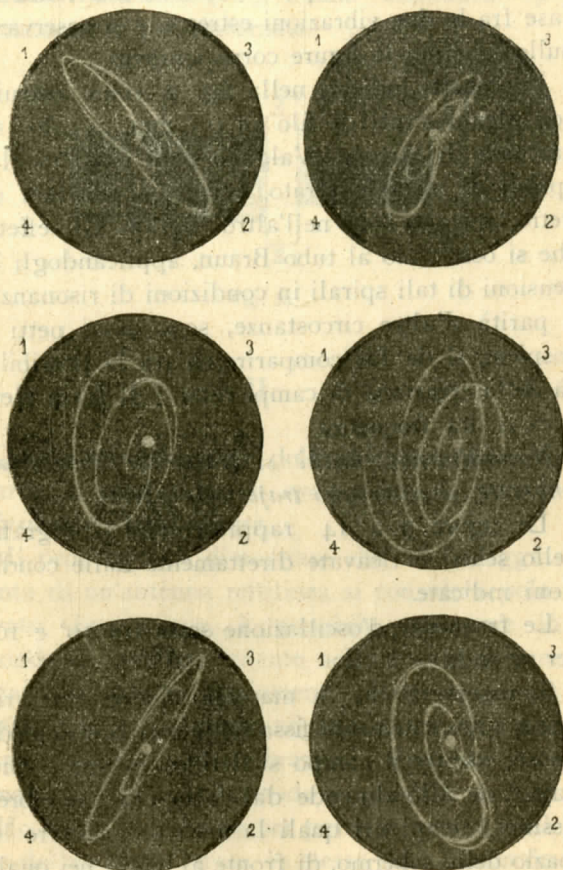
Fig. 9-14.

I due rocchetti $F'$ ed $F''$ di molte spire funzionano analogamente a spirali di risonanza; in condizioni opportune dei circuiti regnano alle

loro estremità 1, 2 e 3, 4 dei ventri di vibrazione del potenziale. In ragione del grado di concatenamento fra le due spirali varia la differenza di fase fra le due vibrazioni estreme, e si osservano sullo schermo le figure corrispondenti.

I rocchetti indicati nella fig. 2 sono costruiti con alcuni strati di filo di 0.5 mm. avvolti su carcassa di cartone. Valgono però assai meglio spirali di un solo strato, avvolte sopra tubi di vetro, entranti l'uno nell'altro (fig. 15). Gli effetti che si osservano al tubo Braun, applicandogli le tensioni di tali spirali in condizioni di risonanza, a parità d'altre circostanze, sono assai netti e cospicui, sì da far comparire chiara la possibilità della creazione di campi rotanti di forza elettrica d'alta frequenza.

*Naturalmente, finchè si tratti di vibrazioni smorzate, si osservano trajettorie aperte.*

Le figure 9 a 14 rappresentano fotografie dello schermo ricavate direttamente dalle condizioni indicate.

Le frequenze d'oscillazione sono fra $10^5$ e $10^6$ per secondo.

Si osserverà che la macchia fluorescente rimane apparentemente fissa nella sua posizione di riposo, mentre il campo si delinea in una o più trajettorie. Ciò dipende dal fatto che sono brevissimi i tempi nei quali la macchia percorre lo spazio dello schermo, di fronte ai tempi nei quali permane in riposo. Quanto più alta è la frequenza e tanto più pallide e sottili appaiono le curve descritte. Spesso sono di una delicatezza estrema e sfuggono alla impressione fotografica. Tutte le fotografie furono ottenute con pose di

alcuni minuti secondi. Soltanto l'ultima (fig. 14) che corrisponde a condizioni di risonanza accuratamente stabilite ($10^6$), è una istantanea, opportunamente poi rinforzata.
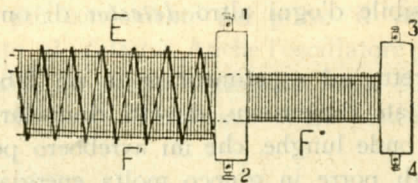
Fig. 15.

## II.

Questa seconda parte delle mie esperienze riguarda la produzione di *onde elettromagnetiche polarizzate ellitticamente*.

Mi propongo di dimostrare che, se l'irraggiamento di un'antenna rettilinea si considera polarizzato linearmente, è possibile comporre in un'onda di carattere rotante nello spazio di propagazione, gli irraggiamenti elettromagnetici *hertziani* di due antenne ad angolo, quando esse siano occupate da vibrazioni elettriche stazionarie dello stesso periodo e spostate di fase.

Ho voluto adoperare per porre in luce il risultato della composizione, lo stesso tubo Braun descritto precedentemente. Quando una delle coppie di armature di cui è fornito, si ponga in comunicazione con un'antenna irraggiata, in opportune condizioni di risonanza con l'onda che la colpisce, e precisamente presso un ventre di ten-

sione della vibrazione stazionaria di risonanza, il campo elettrico indotto nel tubo deve agire sul fascio catodico, come in qualsiasi altro caso. Salvochè, v'ha da aspettarsi che il tubo Braun si dimostri, a parità d'altre condizioni, assai meno sensibile d'ogni altro *detector* di onde elettriche.

Costretto ad esperimentare in un laboratorio di limitate dimensioni, dovetti rinunciare a far uso di onde lunghe, che mi avrebbero però permesso di porre in giuoco molta energia. Generalmente è assai difficile stabilire esperienze di telegrafia senza filo entro laboratorii chiusi, dovendo adoperare onde ed antenne di dimensioni non piccolissime per rispetto alle dimensioni dell'ambiente. Certamente le riflessioni molteplici sulle pareti danno luogo a effetti d'interferenza, nella maggioranza de' casi molto complessi. Però, pensai che fosse possibile di scegliere condizioni d'esperienza tali da far concorrere invece questi effetti al buono scopo, per la dimostrazione qualitativa che mi occorreva.

Ciò mi condusse a far uso di un'onda lunga precisamente quanto la lunghezza dell'ambiente, utilizzando nel miglior modo la riflessione regolare fra due pareti opposte.

Basta un'occhiata allo schema della fig. 16 per farsi un'idea del principio della disposizione adottata.

Disponevo di un laboratorio sotterraneo a muri nudi, lungo 11 m., largo 6 m., alto 3 m., con soffitto a vôlta, pavimento in asfalto. Se si immagina di porre in *A*, ad es., verso il centro della sezione meridiana trasversale dell'ambiente di-

stante da una delle pareti di 1/4 della lunghezza totale, un *oscillatore* hertziano che emetta onde di 11 m., si creerà per opera della riflessione un sistema di onda stazionaria, con ventri in $A$ a $^1/_4$ e in $B$ a $^3/_4$ della lunghezza totale. In $B$ è la posizione più conveniente per porre il *risonatore* collegato al *detector*. Anche l'oscillatore potrebbe trovarsi in un punto qualunque fra $a$ e $c$, ma è chiaro che l'effetto massimo si ha ponendolo in
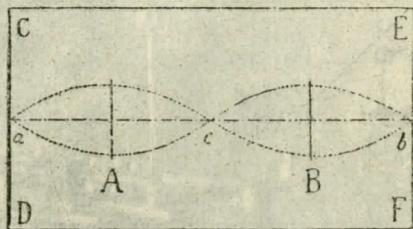
Fig. 16.

$A$. In tali condizioni, le posizioni $A$ e $B$ possono chiamarsi *regioni focali* dell'ambiente. Ogni sistema di onde normali all'asse $a\,b$, partito da uno di questi punti con lunghezza d'onda eguale ad $a\,b$, si fa risentire con la massima intensità nell'altro punto omologo. Ciò sarebbe rigoroso, quando le onde fossero estesamente piane o le pareti laterali $C\,E$ e $D\,F$ fossero infinitamente distanti. Ma per la ricerca semplicemente quantitativa che costituisce il nostro scopo, questa condizione ha minore importanza, tanto meglio se le pareti di fondo $C\,D$, $E\,F$ sono ricoperte da lamiere metalliche per render più perfetta la riflessione.

Passo senz'altro a descrivere le disposizioni d'esperienza che mi hanno permesso di attuare questo progetto, tralasciando di parlare della lunga serie di tentativi meno riusciti, che di solito precedono ogni risultato positivo, e che non fecero difetto nel mio caso.
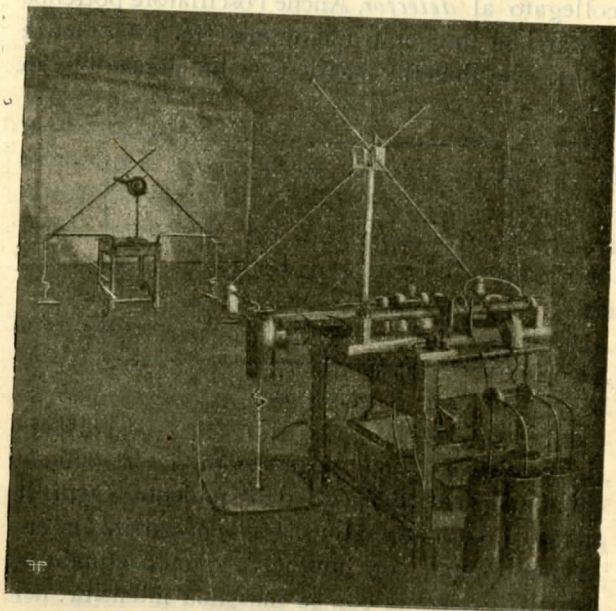
Fig. 17.

Il problema sperimentale era di produrre onde corte di 1.1 m. e contenenti energia in quantità sufficiente da caricare alle estremità delle antenne di ricezione le armature di campo del tubo Braun in modo sensibile.

La fig. 17 è una fotografia dell'insieme degli apparati. Due piccoli tavoli, muniti di piedi a

sfera, sostengono tutti gli apparecchi costituenti le due stazioni, trasmettitrice (*A*) e ricettrice (*B*).

Nello spazio sotto il tavolo *A*, trovano sostegno il rocchetto Ruhmkorff, una grossa bobina di reazione inserita nel primario, la batteria di condensatori e lo spinterometro di scarica. Il circuito di oscillazione è dunque tutto contenuto in quello spazio, ad eccezione di una bobina induttrice di poche spire (*S*) che trovasi al disopra. La tensione alternata di 42 periodi a 220 volt è applicata in circuito chiuso sopra un reostato di 20 ohm, che si trova presso una delle pareti laterali della stanza, e agli estremi di una metà circa di tale resistenza è derivata la tensione d'eccitazione del rocchetto, la cui corrente comprende il primario, la bobina di reazione a nucleo scorrevole, un tasto a contatto di carbone. La corrente primaria in queste esperienze fu sempre inferiore a 10 amp. (*).

Nello spazio sotto il tavolo *B* è disposta la macchinetta Whimshurst mossa da cn motore elettrico a corrente continua, e al disopra trovasi il tubo Braun col sistema d'antenne di ricezione, descritto più oltre.

*Stazione trasmettitrice.* — Lo schema dei circuiti che servono ad eccitare le antenne, e che sono sistemati sul tavolo *A*, è mostrato dalla figura 100.

(*) Il reostato inserito sulla tensione di linea serve a salvaguardare il circuito esterno (trasformatore stradale da 2200 a 220 volt) da possibili *fughe* di oscillazioni elettriche d'alta frequenza, e inoltre a sviluppare nell'ambiente, che è un sotterraneo, alquanto calore per mantenerlo secco e permettere il funzionamento della Whimshurst.

Il circuito d'oscillazione, animato dalla scarica in *E* del condensatore *C* comprende una spirale di 3 a 6 spire di grosso filo bene isolato, *S*, che circonda a distanza di alcuni centimetri, la parte centrale di una specie di rocchetto Tesla *ss*, — circa 1400 spire di filo di 0.4 mm., isolato al cotone e paraffinato, avvolte strettamente sopra un tubo di vetro largo 6 cm., lungo 98 cm. Questo rocchetto è sostenuto orizzontalmente sul tavolo *A* con grossi blocchi di paraffina agli estremi.

La tensione elevata d'alta frequenza che esso fornisce dà una scintilla di circa 2 mm. entro un secondo oscillatore ad olio, *O*, la quale rappresenta, in condizioni opportune, la scarica della capacità del circuito d'oscillazione *aperto P Q O LP'*, che influenza poi in regioni convenienti le due antenne *A*, *A'*, da esso metallicamente isolate.

Il circuito d'oscillazione che si scarica in *O*, comprende: a sinistra, un'armatura cilindrica di stagnola esternamente avvolta sopra un vaso di vetro *Q*, terminante in basso in una lastra (contrappeso) *P*, di grandezza opportuna, scendente verso il pavimento fino a una distanza regolabile, a destra, un paio di grandi spire di grosso filo di rame bene isolato, *L*, di cui l'estremità scende verso il suolo in un'altra lastra *P'*.

L'armatura di stagnola *Q*, forma condensatore con un cilindro di zinco *N*, che vi cade nell'interno concentricamente, e che ricopre molleggiando, la massima parte inferiore di una spirale *M* di grosso filo di rame (6 mm.), del diametro di 12 cm., sostenuta verticalmente dalla base dell'antenna *A*.

Una spirale consimile a destra, è sopportata in *M'* dall'altra antenna *A'* e scende nel centro delle spire *L*, primarie ; un cilindro molleggiante *N'* ricopre, nell'interno o all'esterno, la parte
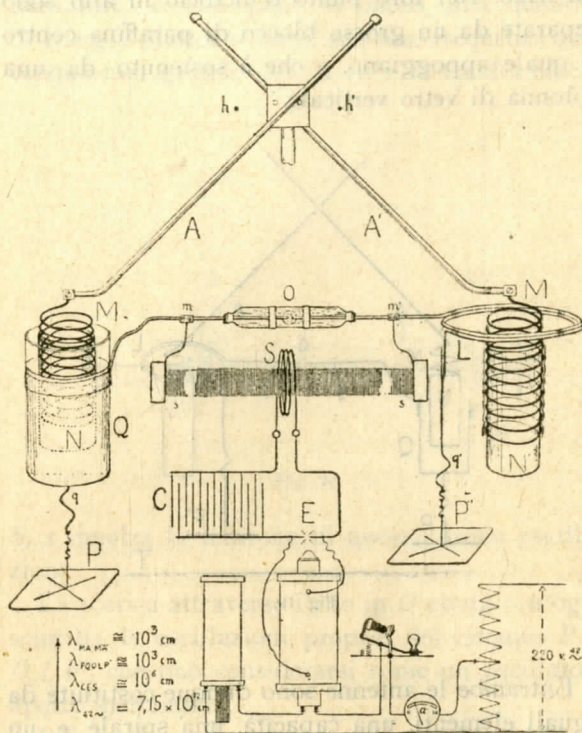
Fig. 18.

inferiore di questa spirale e serve a regolare le spire attive e a costituire capacità.

Le due antenne *A, A'* sono tubi di ottone di 15 mm. di diametro lunghi circa 170 cm. ; sono sostenute alla base, presso la ripiegatura orizzontale da due forti isolatori di porcellana, e sal-

gono simmetricamente inclinate a 45° in un piano parallelo alle pareti fondali della stanza. Alle loro estremità superiori, un pezzo rientrante a cannocchiale permette di variarne la lunghezza di un terzo. Nel loro punto d'incrocio in alto sono separate da un grosso blocco di paraffina contro il quale appoggiano, e che è sostenuto da una colonna di vetro verticale.
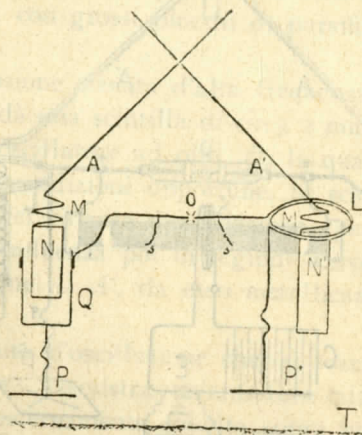
Fig. 19.

Entrambe le antenne sono dunque costituite da uguali elementi, una capacità, una spirale e un tratto rettilineo, aereo, di grande sezione metallica. Quella di sinistra viene eccitata per induzione elettrostatica presso il suo centro (d'oscillazione elettrica); costituiscono allora due oscillatori aperti, di debole smorzamento, su ciascuno dei quali si forma una mezza onda stazionaria della vibrazione propria — la quale acquista in

ampiezza sulle altre vibrazioni allorchè si abbia risonanza col circuito induttore.

Riepilogando. Abbiamo, in sostanza, un primo circuito d'oscillazione *C E S* con un grande condensatore, e che pone in moto una quantità di energia piuttosto forte, con una frequenza qualunque non grande ($10^4$ a $10^5$). Il trasformatore
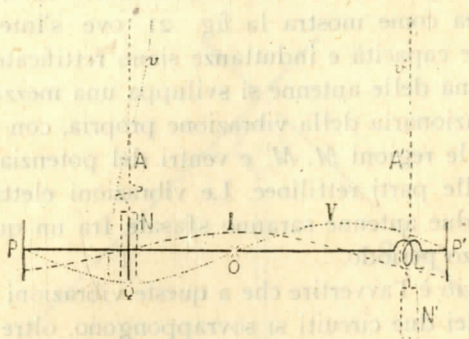
Fig. 20.

*S, s* innalza la tensione di questa prima oscillazione.

La scarica attraverso l'olio in *O* eccita con ogni scintilla le oscillazioni proprie del circuito *P Q O L F'*, che può considerarsi come un oscillatore aperto hertziano.

Riferendoci allo schema più semplice indicato nella fig. 20, vediamo che questo oscillatore potrà costituirsi in vibrazione stazionaria assumendo, in ragione della presenza de' *contrappesi* terminali *P* e *P'*, una intera onda della vibrazione propria, con nodi della tensione *V* agli estremi e al centro e ventri della corrente *I* su *P* e *P'*.

Affinchè questo oscillatore agisca nel modo più

efficace a porre in vibrazione le antenne da esso indotte, conviene determinare le dimensioni dei due sistemi, primario e secondario, in maniera, che *posti in presenza*, posseggano periodi quanto più è possibile prossimi.

Ciò si ottiene per tentativi.

Allora lo stato di vibrazione stazionaria dei due sistemi, primario *P O P'* e secondario *A' A'*, si delinea come mostra la fig. 21 ove s'intendono che capacità e induttanze siano rettificate. Su ciascuna delle antenne si sviluppa una mezza onda stazionaria della vibrazione propria, con nodi entro le regioni *M*, *M'* e ventri del potenziale *v*, *v'*, nelle parti rettilinee. Le vibrazioni elettriche nelle due antenne saranno sfasate fra un quarto e mezzo periodo.

Ovvio è l'avvertire che a queste vibrazioni proprie dei due circuiti si sovrappongono, oltre alle vibrazioni di reazione reciproca dei due circuiti, anche la vibrazione *lenta* della tensione del rocchetto *s s*, che non mancherà di propagarsi per onde non stazionarie in tutti i conduttori esposti all'influenza della scintilla *O*. Ciò fa sì che non è possibile procedere con sicurezza alla determinazione delle volute condizioni di risonanza dei due circuiti, con la distribuzione di onde stazionarie della fig. 20 solo osservando la luminescenza di un tubo rarefatto, poichè la detta onda di frequenza più bassa e di tensione molto elevata maschera generalmente i fenomeni stazionarii, purtroppo sempre più deboli.

La regolazione dei circuiti per produrre la voluta onda di circa 11 metri *sarebbe* quindi assai laboriosa, procedendo soltanto per tentativi *cie-*

*chi* e confidando sulla sensibilità del tubo Braun armato che trovasi nel piano $B$ dell'ambiente.

*Stazione ricevitrice.* — E' costituita da una coppia di antenne ad angolo $B, B$, presso a poco della lunghezza medesima delle $A, A'$, ma in filo di rame di 4 mm., sostenute in un piano verticale da tubi di vetro e dal sostegno stesso del
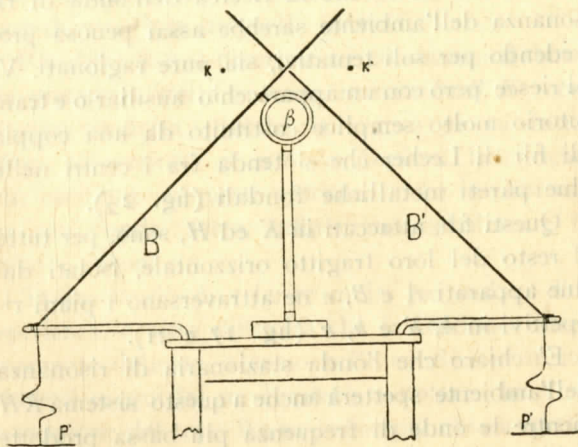
Fig. 2.

tubo Braun (fig. 22). Questo è orientato con le sue quattro armature come nelle esperienze precedenti; le due armature superiori comunicano metallicamente con gli estremi elevati delle antenne $B, B'$, in regioni, cioè, ove in condizioni di risonanza si formerano ventri di tensione: le due armature inferiori sono riunite fra loro ed eventualmente con una capacità.

A favorire la risonanza in mezza onda di queste antenne, come le $A, A'$, esse terminano in bas-

so in una lastra metallica, o contrappeso, regolabile a distanza conveniente dal suolo, cui è parallela.

Il tubo Braun è eccitato mediante due fili sottili che salgono verticalmente dal fondo posteriore del tavolo, il quale sostiene al disotto la Whimshurst e il motorino elettrico, a cui la corrente giunge per un cordone giacente sul suolo.

Abbiamo detto che la ricerca dell'onda di risonanza dell'ambiente sarebbe assai penosa procedendo per soli tentativi, sia pure ragionati. Vi si riesce però con un apparecchio ausiliario e transitorio molto semplice costituito da una coppia di fili di Lecher che si tenda fra i centri nelle due pareti metalliche fondali (fig. 22).

Questi fili, attaccati in *K* ed *H*, sono, per tutto il resto del loro tragitto orizzontale, isolati dai due apparati *A* e *B*, e ne attraversano i piani rispettivi in *h*, *h'* e *k*, *k'* (fig. 17 e 21).

E' chiaro che l'onda stazionaria di risonanza dell'ambiente spetterà anche a questo sistema *KH* mentre le onde di frequenza più bassa prodotte dall'eccitatore si sperderanno nelle pareti metalliche e al suolo, siccome onde progressive di corrente.

Difatti, se si eccitano i due fili nella regione *h h'*, ad esempio, collegandoli per debole induzione elettrostatica con due punti a sinistra e a destra dell'eccitatore ad olio *O*, oppure con due punti delle antenne *A*, *A'*, opportunamente variati, la ricerca della risonanza può farsi metodicamente con un paio di tubi « Néon » collegati a *k k'* e al centro *O* del sistema Lecher (fig. 22).

Finchè la risonanza non è raggiunta la lumi-

nescenza è comune ad entrambi e si mostra con intensità variabile, ma generalmente piuttosto debole. Il processo dei tentativi per raggiungerla consiste allora nello spostare le armature $N, N'$ sulle rispettive spirali, nonchè le piastre $P, P'$ e modificando infine per lievi gradi le capacità mediante foglie di stagno, ecc.

La risonanza si annuncia con lo spegnimento quasi completo del « Néon » centrale $O$ e il brillare di viva luce di quello in $k, k'$.

Più difficile è il determinare condizioni di buona risonanza delle antenne ricevitrici $B, B'$ con l'onda prodotta, giacchè la ricerca ne va fatta *dopo allontanato il sistema Lecher;* le cariche che oscillano su queste antenne, anche in risonanza con l'onda, aerea, influenzano debolmente il tubo « Néon ».

Tralasciando di riferire molti particolari d'esperienza, e altre difficoltà che la rendono estremamente delicata, almeno nelle condizioni in cui dovetti eseguirla, mi limiterò a notare che l'osservazione del tubo Braun riesce più chiara quando venga fatta da un occhio reso sensibile per una certa permanenza nella oscurità.

In ragione della grande frequenza delle oscillazioni ($2{,}7 \times 10^7$ per secondo) la piccola immagine che si scorge nel campo fluorescente intorno alla macchiolina luminosa, che resta fissa, apparisce come una sfumatura ricurva, avente però nettamente il carattere delle curve ricavate precedentemente.

Che l'effetto sia veramente dovuto all'onda proveniente dall'oscillatore, è dimostrato dal fatto che, *spostando il tavolo* B *che porta le antenne*

*ricettrici verso il centro dell'ambiente, la curva sfumata sparisce completamente.* Se si prosegue ad avvicinare le antenne ricettrici al piano delle trasmettrici, si giunge a una distanza (50 a 100 cm.) alla quale il Braun sente fortemente il campo elettrico della oscillazione *lenta* dei circuiti, e allora la macchiolina fluorescente descrive una piccola traettoria *piena*, rettilinea, verticale, e tutto il fondo dello schermo si illumina.

Il fenomeno osservato, debole ma tuttavia percettibile, dimostra la reale composizione delle on-
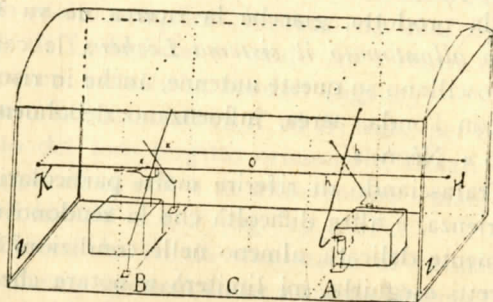
Fig. 22.

de elettromagnetiche sfasate emesse dalle due antenne nello pazio di propagazione, e lo dimotra *con eccesso* giacchè la composizione sussiste non solo per le onde dirette ma anche per quelle riflesse, di cui l'insieme costituisce l'onda stazionaria ottenuta.

La produzione del fenomeno riuscirebbe certamente più netta e più intensa, istituendo l'esperienza istessa con un onda più lunga e cioè operando in un ambiente compreso fra pareti distanti molte decine di metri ; sarebbe da un lato così

più facile creare un'onda di grande energia e d'altro lato la minore frequenza renderebbe più distinta la immagine sul diaframma fluorescente del Braun.

In conclusione, dal complesso di tutte queste esperienze risulta dimostrata, non solo la produzione di campi magnetici ed elettrici di carattere nettamente rotatorio mediante campi alternati smorzati d'alta frequenza, ma altresì — ciò che è essenziale — quella di onde di propagazione dello stesso carattere rotatorio mediante la composizione angolare di onde elettromagnetiche provenienti da due oscillatori hertziani collegati ad uno stesso circuito di scarica, — che è il principio da cui partii nel 1902 per farne applicazione nella radiotelegrafia. Naturalmente, finchè le oscillazioni originarie non sieno persistenti, il risultato della composizione sarà in ogni caso rappresentato graficamente da curve spirali aperte, — ma in grazia della forma singolarmente sinusoidale della scarica elettrica nei circuiti, tali spirali avranno forma essenzialmente *ellittica.*

In questo senso, e non altrimenti, ho sempre inteso parlare di *onde polarizzate ellitticamente* nei miei studii precedenti sulla telegrafia senza filo *confidando tacitamente* nell'avvento delle onde non ismorzate (*).



(*) Ringrazio sentitamente il Dr. A. G. Rossi per l'efficace aiuto prestatomi nella preparazione di queste esperienze.

più facile cosa, un'onda di grande energia e d'altra parte, la minore frequenza rende più distinta l'immagine sul diaframma fluorescente del Braun.

In conclusione, dal complesso di tutte queste esperienze risulta dimostrata, non solo la produzione di campi magnetici ed elettrici di carattere nettamente rotatorio mediante campi alternati smorzati d'alta frequenza, ma altresì — ciò che è essenziale — quella di onde di propagazione dello stesso carattere rotatorio mediante la composizione angolare di onde elettromagnetiche provenienti da due oscillatori hertziani collegati ad uno stesso circuito di scarica, — che è il principio da cui partii nel 1902 per farne applicazione nella radiotelegrafia. Naturalmente, anche se le oscillazioni originarie non siano persistenti, il risultato della composizione sarà in ogni caso rappresentato graficamente da curve spirali aperte, — ma in grazia della forma singolarmente sinusoidale della scarica elettrica nei circuiti tali spirali avranno forma essenzialmente *ellittica*.

In questo senso, e non altrimenti, ho sempre inteso parlare di *onde polarizzate ellitticamente* nei miei studi precedenti sulla telegrafia senza fili [illegible] nell'avvento delle onde non smorzate (*).

(*) Ringrazio vivamente il Dr. A. G. Rossi per l'efficace aiuto prestatomi nella preparazione di queste esperienze.